

Göran Bergendahl¹
December 2002

Real optionsanalys för vägar och järnvägar - en tillämpning på projektet Citytunneln i Malmö

Förstudie på uppdrag av SIKÅ - Statens Institut för Kommunikationsanalys²

Projektsammanfattning

Denna förstudie avser att utveckla nuvarande metodik för lönsamhetsbedömning av investeringar i infrastruktur för att användas 1) när det råder betydande osäkerhet om framtida trafikbehov och framtida byggnadskostnader och 2) när ett antal investeringsprojekt är inbördes beroende av varandra avseende trafikvolym, byggnadskostnader och därmed lönsamhet. Osäkerhet om framtida trafikvolym och framtida byggnadskostnader talar för att använda investeringsstrategier, som är flexibla. Nuvarande ekonomiska bedömningsmetoder, som baseras på en prioritering av investeringsprojekt efter sjunkande nuvärdekvot, visar sig vara otillräckliga och kan ge direkt vilseledande rekommendationer.

En real optionsanalys innebär, att man ser investeringar som en serie optioner, där man realiserar en framtida option (investering) först om och när tillväxten har blivit tillräcklig eller kostnaderna tolerabla. Avsikten är här att genomföra ett räkneexempel gällande en serie investeringsprojekt relaterade till Citytunneln i Malmö för att undersöka om en sådan realoptionsansats kan klara av att på ett stringent sätt hantera ovan nämnda former av osäkerhet vad gäller inbördes beroende investeringar.

De flesta investeringsförslag innehåller flera utbyggnadsfaser. I en del fall är dessa beroende av varandra och sådana beroenden kan ta sig olika uttryck, såsom:

- a) En etapp B kan inte byggas förrän en etapp A genomförs (etapp B är betingat - "contingent"- av etapp A). En speciell situation uppstår när man inte säkert kan bedöma kostnaderna för etapp B förrän man byggt etapp A.*
- b) I vissa fall kan man bygga två projekt A och B var för sig men nyttan av dessa projekt förstärks om och när båda projekten byggs.*
- c) En annan situation uppstår när två projekt A och B är ömsesidigt uteslutande, dvs om man genomför projekt A kan man inte genomföra projekt B och tvärtom.*

Detta betyder att val av storlek och tidpunkt för genomförande av ett investeringsprojekt får konsekvenser för nyttan av denna investering och i många fall också för nyttan av andra investeringar.

Förstudien avser att ligga till grund för forskning och utveckling av ekonomiska bedömningsmetoder i avsikt att hantera osäkerhet vid järnvägs- och väginvesteringar. Den omfattar tio avsnitt, inleds med behovet av en ny investeringsmetodik (1), bakgrunden till förslaget om en citytunnel (2) och om kostnaderna för att genomföra motsvarande investeringar (3). Därpå följer ett avsnitt (4) om samhällsekonomiska bedömningar och ett (5) om alternativ till Citytunneln. Behovet av nya bedömningsmetoder redovisas (6) följt av erfarenheter från dess användning (7). Därpå följer (8) ett räkneexempel rörande real optionsanalys för Citytunneln. Rapporten avslutas med slutsatser (9) och en skiss över behovet av en huvudstudie inriktad på real optionsanalys (10).

¹ Handelshögskolan vid Göteborgs universitet, Box 610, 405 30 Göteborg

² Denna förstudie har utarbetats på uppdrag av Statens Institut för Kommunikationsanalys (SIKA) med syfte att "genomföra räkneexempel med realoptionsansats för Citytunneln i Malmö". Rapporten baseras på intervjuer med och material från Börge Knutsson och Stefan Prah, Citytunneln, Malmö, Peter Andersson, Håkan Bjurek och Ingela Olofsson, Banverket i Malmö, Ulla-Stina Ingemarsson och Lennart Lennefors, Banverket i Borlänge samt Roger Pyddoke, SIKÅ.

1. Behovet av en ny metodik

En av grundstenarna vid användning av samhällsekonomiska kalkyler vid investeringar i järnvägar och vägar är att skapa ett underlag för prioritering efter angelägenhetsgrad. För detta ändamål har man utvecklat system för beräkningar av enskilda projekts nuvärdekvot. På senare tid har det dock uppkommit en omfattande kritik mot en ensidig användning av nuvärdekvot vid prioritering. SIKÄ (2002, s. 6) har t ex föreslagit en rad riktlinjer för att uppnå ett förbättrat samhällsekonomiskt beslutsunderlag, såsom:

- Rekommendationer för hur konsekvenserna för samhällsekonomisk lönsamhet av osäkerhet om omvärld och framtida trafikpolitiska åtgärder.

Då uppkom frågor att besvara som:

- Hur skall man belysa osäkerheter med känslighetsanalyser?
- Hur hanterar man antaganden om byggstart, fördelning av byggkostnader över tiden samt trafikstart?

Nuvärdet av en väg- eller en järnvägsinvestering mäts som summan av alla besparingar i trafikantkostnader, olyckskostnader och underhållskostnader minskat med investeringskostnaderna allt diskonterat till ett startår. Om investeringen ger upphov till trafikökningar så adderas dessutom nuvärdet ("konsumentöverskotten") av nytillkommen trafik. Om sedan det sammanlagda nuvärdet är positivt så bör investeringen genomföras.

Riksdagen har aldrig avsatt tillräckligt med kapital för att genomföra alla investeringar med positivt nuvärde. Av detta skäl tvingas man att prioritera bland alla i och för sig lönsamma projekt. En naturlig regel blir då att prioritera projekt efter nuvärde per insatt krona, dvs s k nuvärdekvot eller nettonuvärdekvot (NNK). Denna prioriteringsregel fungerar väl vid val mellan inbördes oberoende projekt. Den är däremot inte lämplig när lönsamheten av två eller flera projekt beror av varandra. Den har också stora svagheter när det råder osäkerhet avseende framtida byggkostnader och framtida trafikvolym.

SIKÄ (2002, s. 48) förordar "en fortsatt tillämpning av en oförändrad (låg, i princip ej riskjusterad) diskonteringsränta och att konsekvenser av centrala osäkerheter redovisas. De osäkerheter, som tidigare identifieras som viktiga är utfallet av kostnader och trafik." I denna rapport är det just utfallen av byggnadskostnader och trafikvolym som ställs i fokus. Och det är just i dessa fall som det är önskvärt med flexibilitet i fråga om prioritering. Denna rapport kommer därför att fokuseras på hur man kan utveckla ett förbättrat samhällsekonomiskt beslutsunderlag när det råder en betydande osäkerhet avseende trafikutveckling och byggnadskostnader.

Under senare år har stora satsningar gjorts för att utveckla nuvärdemetoden för att ta hänsyn till möjligheterna att successivt fatta nya beslut allt eftersom man får förnyad information om investeringskostnader och betalningsflöden. Man har kommit att kalla denna nya metodik för en "real optionsanalys" eftersom man vid initiala investeringsbeslut förbehåller sig rätten (men inte skyldigheten) att vid senare tillfällen komplettera dessa beslut med nya investeringar. Orsaker till att inte fatta alla beslut samtidigt kan vara att man genom stegvisa beslut tar vara på en förbättrad information rörande bygg- och underhållskostnader ("learning options"), trafikefterfrågan ("growth options") och valet av resvägar ("flexibility options").

Det finns flera exempel på lyckosamma användningar av en real optionsanalys i samband med trafikinvesteringar. Motorvägsbygget mellan Halmstad och Hallandsåsen utgör ett sådant. Under 1960-talet byggde man denna vägsträcka som motortrafikled men utformade samtliga broar för en kommande motorväg, dvs med en option att vid behov expandera kapaciteten. När man ca tjugo år senare fann att trafiken växte kraftigt så byggde man ytterligare två körbanor och drog då nytta av att broarna var förberedda för motorvägstandard.

Ett annat exempel är beslutet från 1982 om inköp av nya spårvagnar till Göteborg. Osäkerhet rådde om hur höga kostnader dessa nya spårvagnar skulle generera och om det fanns ett tillräckligt stort trafikbehov som motiverade sådana satsningar. Efter en omfattande analys av framtida kostnadsbesparingar beslöt man att i ett första steg skriva ett kontrakt på 30 nya spårvagnar och att komplettera detta kontrakt med en option på ytterligare 50 spårvagnar. Efter ca fem år utnyttjade man denna "real option" och investerade i ytterligare 50 spårvagnar (se t ex Bergendahl & Segelod 1981 och Segelod 1986, sid. 68-72)

Citytunneln i Malmö – i fortsättningen enbart kallad Citytunneln - är beteckningen på ett antal inbördes beroende investeringsprojekt³, som avser att binda samman spårsystemen öster och norr om Malmö dels med den sk Öresundsförbindelsen till Köpenhamn och dels med spåren till Ystad och Trelleborg. Staten, Statens Järnvägar, Kommunen och Kommunalförbundet för Malmöhus läns kollektivtrafik träffade 1997 ett avtal om finansiering och genomförande av dessa projekt. Detta avtal har senare omförhandlats och Banverket skall nu ensamt svara för hela Citytunnelprojektets genomförande.

Denna rapport utgår från situationen år 1997 innan man fattade beslut om Citytunnelns genomförande. Avsikten är nämligen att – med hjälp av Citytunneln som åskådningsobjekt - illustrera hur en real optionsanalys skall kunna användas för att ekonomiskt sett analysera val av alternativ och tidpunkter för genomförande av projekt, som är inbördes beroende av varandra.

2. En ny trafiksituation har uppstått för sydvästra Skåne

Byggandet av Öresundsbron har betytt att järnvägstrafiken till och från Danmark kan ledas över denna bro. Detta innebär att denna trafik kommer att bestå av såväl långväga trafik som närtrafik Malmö-Köpenhamn.

Idag är Malmö C en säckstation, där tågen måste vända och ledas runt om Malmö för att ta sig över till Köpenhamn. Citytunneln innebär att tåg kan ledas i en tunnel under centrala Malmö och därmed samla upp trafikanter i centrum via en ny station i Triangeln och en annan i Hyllie. Tunneln ansluts i söder till den sk Öresundsbanan. Detta betyder att Citytunneln kommer att betjäna:

- genomgående snabbtåg från Göteborg, Oslo och Stockholm till Köpenhamn.

³ Enligt projektavtalet består Citytunnelprojektet av investeringar gällande a) Malmö bangård, b) Malmö C inkl betongtunnel, uppfartsramp och förgreningsdel, c) borrhade tunnlar och betongtunnlar i söder, d) station Triangeln, e) station Hyllie, f) bana ovan mark och förbindelsepår, samt g) kommunens åtaganden rörande vissa broar och vägar.

- genomgående Öresundståg från Göteborg, Kalmar och Karlskrona till Köpenhamn.
- genomgående Pågatåg från Höör, Simrishamn, Trelleborg och Ystad till Helsingborg och Ängelholm.
- nya Pågatåg från Lomma och Staffanstorp till Malmö.

För att Citytunneln effektivt skall kunna betjäna tågtrafiken till Trelleborg och Ystad så planeras förbindelse-spår i Lockarp. Dessa förbindelse-spår avses i sin tur att också användas för:

- genomgående DSB-tåg från Köpenhamn till Ystad/Bornholm.

Man har identifierat sju ändamål med Citytunneln, nämligen att:

1. öka konkurrenskraften för den spårbundna kollektivtrafiken i Skåne.
2. bidra till en förbättrad integration inom Öresundsregionen.
3. stärka konkurrenskraften för den nationella järnvägstrafiken.
4. minska miljöproblemen kring Kontinentalbanan.
5. stärka utvecklingen i skånska orter med järnvägsförbindelser.
6. stärka Malmös stadskärna som ett centrum i regionen.
7. vara ett steg i riktning mot ett miljöanpassat transportsystem.

Eftersom syftet med denna rapport är att illustrera användningen av en realoptionsanalys vid samhällsekonomiska bedömningar, så kommer fokus här att ligga på mål att öka den samhälleliga effektiviteten. Detta kan ses som ett led i att stärka konkurrenskraften⁴.

Byggandet av Citytunneln förutsätts generera betydande volymer nya resor just genom att den erbjuder stationer i centrala Malmö. Detta gör att vi får två olika prognosalternativ:

1. Citytunneln med tillhörande anläggningar byggs för att stå färdig för trafikering år 2010. Detta alternativ kallas utredningsalternativet - UA.
2. Jämförelsealternativet - JA, dvs att fortsätta med persontrafik på Kontinentalbanan. Detta "nollalternativ" förekommer dessutom i två former. Fallet UR - "utan restriktion" - innebär att persontrafiken på Kontinentalbanan kan ske till obegränsade volymer. Fallet MR - "med restriktion" - innebär att man på Kontinentalbanan enbart få framföra ett begränsat antal tåg per dygn.

För dessa såväl utredningsalternativet UA som för jämförelsealternativet JA finns det två skilda trafikprognoser för år 2010, den ena gjord av Intraplan och den andra utförd av Banverket. Delar av dessa båda prognoser redovisas nedan.

Skillnaderna i prognosvolymer mellan Banverket och Intraplan hänför sig huvudsakligen till olika antaganden om trafiktillväxten. *Banverket* utgår ifrån prognosmodellen EMME2 innehållande en nationell modell och fem regionala modeller. Tillväxten är beräknad till 1.3% per år fram till år 2020 och 0.5 % per år därefter (Lennefors 2001, sid.18, 22). *Intraplan* använder å

⁴ För tre ingående och mycket ambitiösa ekonomiska analyser av Citytunneln, se Lennefors 2001, Lindberg 2001 och Nilsson 2001.

sin sida av a) en "Modal Split"-analys (fördelning mellan tåg och bil), b) en analys av tillkommande trafik och c) en fördelning efter restid. Resultatet har blivit en ökning av kollektivtrafiken med 3.1 % per år fram till år 2010 och en ökning av biltrafiken med 1.0 % per år (Lennefors 2001, sid.13-16). Det är uppenbart att ju högre tillväxttakten är för kollektivtrafiken, ju högre blir den samhällsekonomiska lönsamheten av utredningsalternativet UA.

Tabell 1. Prognoser för järnvägsresor år 2010 i anslutning till Malmö
(genomsnittligt antal resenärer per dygn)

Resvägar	Intraplan		Banverket	
	UA	JA	UA	JA
Malmö - Lund	38700	31700	34500	30000
Malmö - Lomma	3900	4100		
Malmö - Staffanstorp	6800		1300	
Malmö - Svedala (Ystad)	5600	4700	4300	3000
Malmö - Trelleborg	3200	2400	2500	1800
Malmö - Köpenhamn	50000	35300	30300	24200
	108.200	78.200	72.900	59.000
<u>Stationer</u>				
Malmö C	34300	55600	19000	38000
Triangeln	37400		26000	
Hyllie	16400		7000	
	88.100	55.600	52.000	38.000

Såväl utredningsalternativet UA som jämförelsealternativet JA består av ett antal investeringsprojekt, som är inbördes beroende av varandra avseende trafikvolym och vars lönsamhet är kraftigt avhängig av den osäkra trafikutvecklingen. Detta leder fram till ett antal frågor av central betydelse för lönsamheten av Citytunneln och därtill relaterade projekt:

1. Vilket investeringsprogram är bäst när man för de närmaste åren (2003-2007) skall utföra en koncentrerad satsning på Citytunneln och tillhörande projektförslag? Kalla denna fråga för *HUR*?
2. Lönar det sig att skjuta upp besluten för vissa av investeringarna när det idag råder stor osäkerhet om byggnadskostnader och trafikvolym? Kan ett sådant uppskov innebära att det är mer lönsamt att satsa på alternativ till Citytunneln och vilka är i så fall dessa alternativ? Kalla dessa frågor för *VAR*?
3. Kan valet av alternativ påverka bästa tidpunkt för investering? Omvänt, beror designen rörande investeringsprogrammet på när de ingående delprojekten bör utföras? Kalla dessa frågor för *NÄR*?

3. Investeringskostnader

Banverket har beräknat investeringskostnaderna för utredningsalternativet UA till 7700 mkr i 1996 års penningvärde eller ca 8280 mkr i 1999 års penningvärde (Lennefors 2001, s. 20). Häri ingår:

1. Ombyggnad av Malmö bangård
2. Tunnel från Malmö bangård till Holma.
3. Underjordisk station Malmö CN.
4. Underjordisk station Triangeln.
5. Järnväg över mark över Hylliefältet.
6. Station Hyllie (ca 200 mkr).

7. Förbindelsespår till Öresundsbanan västerut (spårport à 300 mkr redan byggd).
8. Förbindelsespår till Öresundsbanan österut (spårport à 300 mkr redan byggd).
9. Förbindelsespår till Ystadsbanan och Kontinentalbanan vid Lockarp. Detta betyder att utredningsalternativet innehåller *nio inbördes beroende projekt*.

Om Citytunneln inte byggs så leder jämförelsealternativet JA till ett antal investeringar i existerande bannät, såsom:

10. Investeringar på Kontinentalbanan till ca 1400 mkr.
11. Höger/vänsterväxling vid Arlöv.
12. Två mötesplatser för trafik till Trelleborg till ca 75 mkr.
13. En ny mötesplats på Lommabanen.
14. En förlängning av mötesplatsen i Flädie.
15. Hållplatser på mellanstationerna.
16. En upprustning av banan Staffanstorp-Dalby.

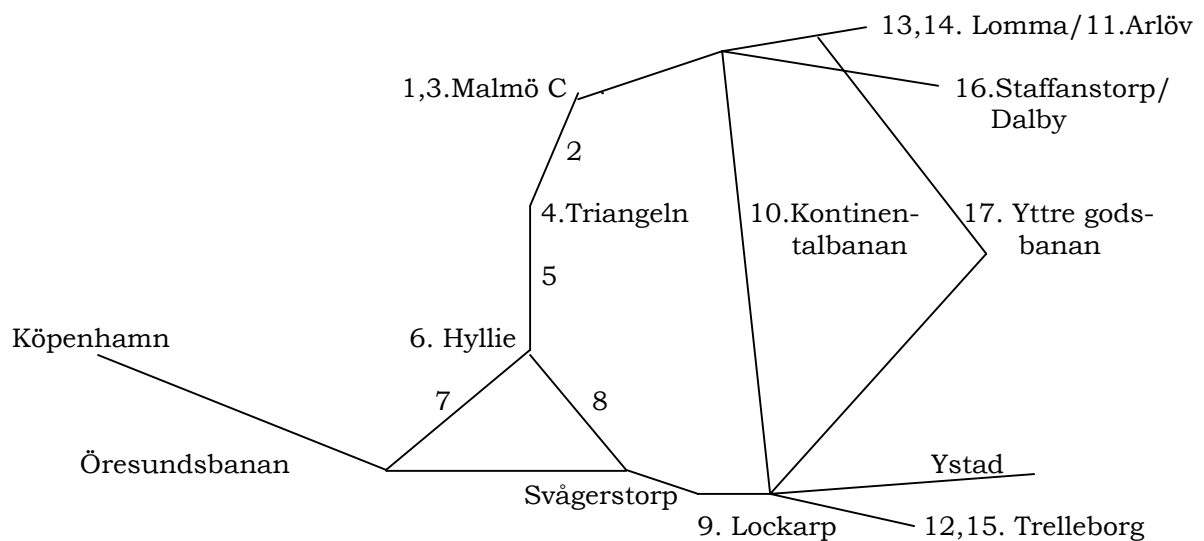
Jämförelsealternativet består således av *åtta inbördes beroende projekt*.

Därtill kommer möjligheten att investera i

17. En yttre godsbanan Lockarp - Hjärup/Åkarp till ca 1200 mkr för enkelspår och ca 2600 mkr för dubbelspår.

Investeringsbehoven för jämförelsealternativet JA (dvs utan Citytunneln och utan Yttre godsbanan) är beräknade till 2810 mkr (också i 1999 års prisnivå). Sammantaget betyder detta *en merkostnad av 8280 mkr - 2810 mkr = 5470 mkr för själva anläggningarna*. Frågan är om dessa merkostnader kan täckas upp via besparingar i underhåll, resor och transporter av gods och via överskott som uppkommer från ny trafik.

Figur 1. Tänkbara järnvägsalternativ kring Citytunneln.



Idag är Malmö C inte anpassad för de ökningarna i trafikvolymerna som sker till följd av järnvägstrafiken från Köpenhamn till Malmö över Öresundsbron. Citytunnelprojektet - enligt utredningsalternativet UA - avser att utöka Malmö C med en underjordisk station "Malmö C Nedre", som i ena änden ansluts till Södra Stambanan från Stockholm (inkl Oslo/Göteborg) och i den andra änden ansluts till Citytunneln och därmed till Öresundsförbindelsen (Köpenhamn) och till Ystads- och Trelleborgsbanorna. Den nuvarande stationen i markplanet är tänkt att även i fortsättningen verka som en säckstation "Malmö C Övre" för nattåg och snabbtåg till Stockholm.

Stationen Triangeln är tänkt att vara placerad så att den betjänar resenärer från ett antal stora arbetsplatser och serviceområden (t ex Malmö Sjukhus). Stationen Hyllie är främst avsedd att betjäna det nya bostadsområdet Hyllievång. Idag är resandebehovet här begränsat, varför det kan vara aktuellt att utreda om denna station bör byggas samtidigt med tunneln eller eventuellt senare.

4. Samhällsekonomiska analyser

De samhällsekonomiska bedömningarna, som normalt utförs av Banverket och Vägverket syftar till att prioritera mellan projekt som skall ingå i verkens långtidsplaner. Projekten rangordnas därför efter avkastning per investerad krona, eftersom man anser att budgetramarna är den trånga sektorn. Det mått som används kallas "nettonuvärdekvot" (NNK).

Den samhällsekonomiska bedömningen av Citytunneln anses ha ett annat syfte nämligen att pröva om nyttan av projektet är större än uppoffringarna i miljö och kostnader (Lennefors 2001, sid. 3). Med andra ord är avsikten att undersöka om det är mer lönsamt att bygga Citytunneln med tillhörande projekt än att investera i en alternativ utformning ("nollalternativet") främst innebärande ett kraftigt utnyttjande av Kontinentalbanan. Då är det lämpligt att avgöra om nuvärdet för Citytunneln (projekt UA) är större än nuvärdet för nollalternativet (projekt JA).

Banverket och CTEK har utfört samhällsekonomiska bedömningar av investeringsalternativen i stort sett enligt följande principer:

1. Beräkna trafikarbetet i form av producerat antal personkm år för år.
2. Beräkna nettointäkt/personkm i form av beräknade biljettintäkter och konsumentöverskott minskat med kostnaderna för tidsförbrukning, reskostnader, fordonskostnader, underhållskostnader, luftföroreningar, trafikolyckor och trafikbuller.
3. Multiplicera nettointäkt och personkm år för år samt diskontera dessa belopp till investeringstidpunkten. Då uppkommer ett nettoöverskott (N).
4. Beräkna nuvärdet av alla investeringsbetalningar (I).
5. Beräkna *avkastningen* (A) på investeringsprojektet som skillnaden (N-I) mellan nettoöverskottet och investeringsutläggen.
6. Om avkastningen (A) är större än avkastningen på nollalternativet (A_0), så bör projektförslaget genomföras.

7. Investeringens angelägenhetsgrad fastställs av nettonuvärdekvoten (NNK) mätt som $NNK = (N-I)/I = A/I$.

Banverket och CTEK har därefter utfört ett stort antal beräkningar av avkastning och angelägenhetsgrad rörande olika förutsättningar av Citytunnelns utbyggnad (se Lennefors 2001, Tabell 7.11-13, sid. 29-30). Banverket har uppskattat förändringen i trafikarbete till 113.7 milj. personkm för år 2010, medan CTEK, som bygger sina beräkningar på Intraplans prognos, förutsätter att denna förändring kommer att bli 150.4 milj. personkm detta år. För dessa nivåer har man beräknat följande kostnader och intäkter i mkr.

Tabell 2. Alternativa skattningar av kostnader och intäkter.

Effekter i mkr år 2010	Banverket	CTEK
Biljettintäkter	140.4	223.0
Restidsvinster	75.5	203.0
Reskostnader	-58.3	-57.0
Luftföroreningar	-5.6	-16.0
Trafikolyckor	-1.2	-10.0
Nettoöverskott	150.8	343.0
Nettoöverskott/personkm	1.32	2.28

Dessa beräkningar har sedan blivit utgångspunkten för en samhällsekonomisk bedömning⁵ av Citytunnelprojektet sett över en 60-årsperiod (Lennefors 2001, Tab. 7.11, komplettering). De årliga nettoöverskotten har diskonterats tillbaka till år 1999 som basår, varvid följande resultat framkommer:

Tabell 3. Ekonomiska effekter år 2010

Effekter i mkr över en 60års period	Banverket	CTEK
Anläggningskostnad CT	-8.277	-8.277
Restvärde	297	297
Anläggningskostnad JA	-2.210	-2.210
Reinvesteringar	-20	-20
Drift och underhåll	-31	-31
Trafikeringskostnader	-840	-781
Biljettintäkter	3.001	4.437
Restidsuppoftning	1.799	3.748
Förseningstid gods	55	55
Buller (Mkr)	740	740
Luftföroreningar	160	605
Skatteeffekter	-85	-329
Minskade broavgifter	-370	-740
Summa effekter (= A)	4.409	7.684
Nettonuvärde	-3.753	-478
Nettonuvärdekvot (NNK)	-0.46	-0.06

Beräkningarna visar, att Citytunnelprojektet inte är lönsamt med gjorda antaganden. Inte ens den årliga trafik tillväxt på 2 %, som angetts av

⁵ Notera att denna bedömning – i enlighet med de uppsatta sju målen - inkluderar minskade miljöproblem i form av reducerade luftföroreningar. Däremot beaktas inte fördelarna som Utredningsalternativet (UA) ger i form av en förbättra integration eller en stärkt regional utveckling.

Intraplan och som använts av CTEK, är tillräcklig för att motivera en satsning på projektet. Banverket beräknar ett underskott av drygt 3.7 miljarder kr medan CTEK uppskattar att investeringen ger en förlust på ca en halv miljard. För Banverkets kalkyler betyder detta, att vid givna kostnadsberäkningar måste volymerna öka med ca 85 % för att projektet skall visa sig vara lönsamt. Om CTEK's beräkningar slår in behöver volymerna enbart öka med ca 6 % för att nå lönsamhet.

Ovan redovisade beräkningar har klarlagt betydelsen av prognoserna rörande trafiktillväxten. Men det är inte enbart osäkerheten om trafikefterfrågan, som får en avgörande betydelse för Citytunnelns lönsamhet. Prognoserna avseende byggnadskostnader har skenat iväg med sådan fart att det blivit svårare och svårare att nå fram till ett samhällsekonomiskt försvarbart utbyggnadsprogram.

De första kostnadsberäkningarna utfördes i samband med att svenska statens förhandlingsman i juni 1992 träffade en överenskommelse med kommunalförbundet för Malmöhus län om att knyta Malmö C till Öresundsbron via en dubbelspårig järnväg i tunnel under Malmö. Sträckningen - dvs projektet Citytunneln - kostnadsberäknades då till 2.5-3.5 miljarder kronor (Nilsson 2001, sid. 161, 162, 165).

I februari 1994 tillkallade regeringen en ny utredare (Bengt Dennis) bl.a. för att belysa Citytunnelns lönsamhet, finansiering och dess effekter på miljön. Byggnadskostnaderna beräknades då till 4 miljarder kronor i prisläge jan 1994 (Nilsson 2001, sid.162-166). Projektet kom dock att utformas som en järnväg i ett dike och inte i en tunnel.

Under åren 1995-96 genomfördes tre kompletterande utredningar som berörde Citytunneln. Byggnadskostnaderna kom nu att hamna på 5-5.3 miljarder kronor i prisnivå januari 1996. Fördyringen baserades på byggandet av en tunnel med hjälp av borrh (Nilsson 2001, sid. 167, 183).

Citytunnelprojektet bildades 1997 som ett konsortium mellan Banverket, SJ, Malmö stad och Region Skåne. Nya kostnadsberäkningar hamnade nu på 7.1 miljarder kronor främst beroende av att man tidigare gjort felbedömningar⁶. Dessa nya beräkningar har sedan igen fått revideras först till 7.5 miljarder kronor i 1996 års penningvärde eller 8.3 miljarder kronor i 1999 års penningvärde (Lennefors 2001, sid. 20). Idag skattas investeringskostnaderna till ca 9 miljarder kronor.

Det är uppenbart att kostnadsökningar från 3 miljarder kronor 1992 till ca 9 miljarder kronor år 2002 har en stor negativ inverkan på projektets lönsamhet. Observera dock att en betydande del av dessa ökningsar beror av den allmänna prisutvecklingen (inflationen).

⁶ Knutsson, personlig kommentar.

Nästa avsnitt innehåller en analys av möjligheter att för vid regelbundet uppdaterade trafikprognoser ändra på den fastlagda investeringsstrategien i avsikt att öka lönsamheten av satsningen på Citytunneln.

5. Alternativa investeringsstrategier

Visionen bakom en satsning på Citytunneln i Malmö är att lösa de stora kapacitetsproblem som uppkommit genom byggandet av Öresundsbron. Persontrafik till Köpenhamn, som tidigare skett via Helsingborg-Helsingör eller via bussar som utnyttjat färjan Limhamn-Dragör, sköts nu med tåg över Öresundsbron och passerar därmed också Malmö C. Godstrafik via järnväg dras över Kontinentalbanan och Öresundsbron. Lönsamheten bakom satsningen på Citytunneln beror därför i hög grad av utvecklingen av såväl godstrafiken som persontrafiken.

Citytunnelkonsortiet i Malmö har utgått ifrån ett det gällt att åstadkomma ett *engångsbeslut*, dvs att man vid en och samma tidpunkt fattar beslut om samtliga delar av projektet för att sedan bygga dem i sekvens. Bildligt sett betyder detta att man vid en enda tidpunkt "fryser" samtliga investeringsprogram. Men är nu ett sådant engångsbeslut verkligen en effektiv strategi när det råder en betydande osäkerhet avseende investeringskostnader och framtida trafikvolym? Hade det inte varit rimligare att starta en del av projektet och besluta om fortsättningen när man sett hur kostnader och trafikvolym utvecklats? Det är dessa typer av villkorliga beslut som kallas *reala optioner*. En beräkning av lönsamheten bakom en sådan sekventiell strategi kallas därmed en *real optionsanalys*.

För att demonstrera hur Citytunnelprojektet skulle ha kunnat analyseras i form av reala optioner så utgår vi från den situation som rådde år 1997 och det engångsbeslut som då togs för att sedan se fördelarna av att kunna modifiera detta. *Engångsbeslutet* med en tänkt igångsättning år 2003 omfattar följande delkomponenter:

- ombyggnad av Malmö bangård,
- tunnel från Malmö bangård till Holma,
- underjordisk station Malmö CN,
- underjordisk station Triangeln,
- järnväg över mark på Hylliefältet,
- station Hyllie,
- förbindelsespår till Öresundsbanan västerut (spårport à 300Mkr redan byggd),
- förbindelsespår till Öresundsbanan österut (spårport à 300Mkr redan byggd).

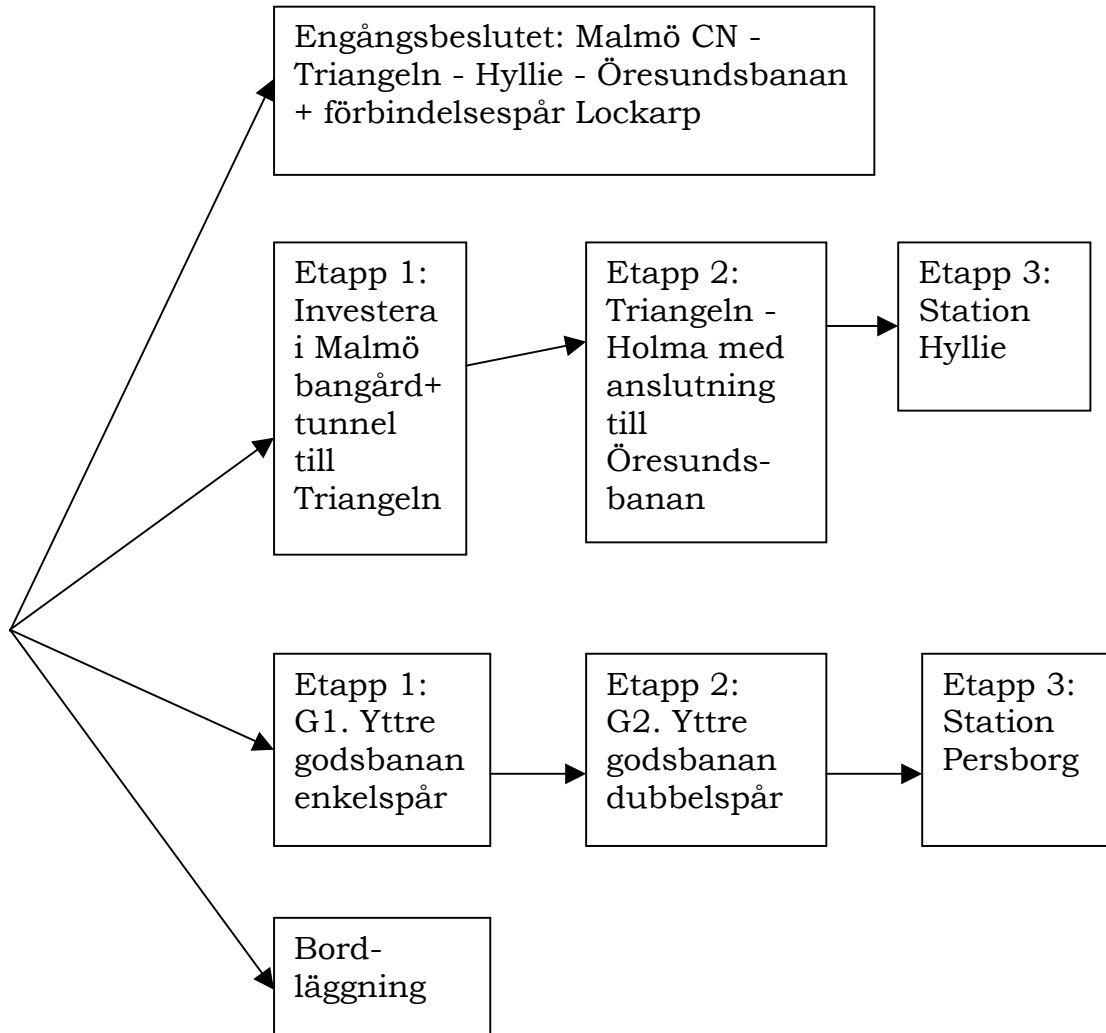
Om dessa komponenter byggs i en direkt sekvens så beräknas att hela projektet är slutfört år 2007 då trafiken kan komma igång.

En modifiering av engångsbeslutet skulle kunna ha tagit sig olika utformningar om man aktualiserat det år 1997. Nedan presenteras några sådana alternativ tagna från Citytunnelprojektet⁷. De läggs sedan samman i

⁷ Citytunnelprojektet, 2000.

en real optionsanalys. Huvudalternativen år 1997 borde ha kunnat vara följande (se Figur 2):

Figur 2. Engångsbeslutet och alternativa investeringsstrategier



1. "*Bordläggning.*" Man skjuter upp samtliga investeringar i projektet till ett framtida datum för att invänta mer information om efterfrågan på resor eller information om kostnader för att bygga. Därmed reducerar man osäkerheten i projektet men bibehåller en option att bygga senare (en "option to defer"). Utgå exempelvis från att man skjuter upp beslutet om investering från år 2003 till år 2007. Under de år som man inväntar ny information så kan det t ex tänkas att den påbörjade integrationsprocessen i Öresundsregionen avtar och således att regionen inte är i behov av den kapacitetsökning som projektet hade inneburit. Investeringar i infrastrukturen kan då iscensättas till lägre kostnader för att lösa problemen som är relaterade till Malmö C. Om å andra sidan integrationsprocessen accelererar så kan Citytunneln starta om dock fyra år försenat.

2. *"Etapppbyggnad."* Projektet Citytunneln i Malmö startar enligt planerna år 2003. Man bygger i tre etapper:
 - a. *Etappp 1: Malmö C - Triangeln.* Man börjar med att lösa problemen kring Malmö C genom att bygga Malmö CN samt en tunnel med dubbelspår Malmö C - Triangeln, samt stationen Triangeln. Allt eftersom dessa satsningar är klara tas stationerna Malmö CN och Triangeln i bruk för Pågatåg till Höör, Simrishamn, Trelleborg och Ystad. Tågen får dock vända vid stationen Triangeln⁸. När dessa investeringar är genomförda görs en ny utvärdering och beslut fattas om fortsättningen, dvs etapp 2.
 - b. *Etappp 2: Triangeln - Öresundsbanan.* Man fortsätter byggandet av dubbelspår från Triangeln till anslutningen vid Öresundsbanan. När denna etapp är klar tas tunneln i bruk för genomgående snabbtåg och Öresundståg. En ny utvärdering genomförs och beslut fattas om etapp 3. Beslut om denna etapp görs tidigast år 2007 förhoppningsvis baserat på ny information om efterfrågan på resor (dvs man har skapat en option att expandera i ett senare skede - en "*Growth option*").
 - c. *Etappp 3: Hyllie station.* Byggstart för stationen Hyllie är till mycket stor del avhängigt det nya bostadsprojekt som planeras i Hyllie. Om det inte byggs nya bostäder inom detta område så finns det mycket få skäl starta ett bygge av stationen Hyllie (dvs man "dödar" då optionen).

3. *"Yttre godsbanan."* Projektet Citytunneln stoppas. Istället leds persontrafiken till Köpenhamn, Trelleborg och Ystad via Kontinentalbanan, som får en ny station vid Persborg. Malmö C och Svågertorp blir dock huvudstationer för lokaltrafiken och Öresundstrafiken. För att klara kapaciteten byggs den s k "Yttre godsbanan", som kan få två stegvisa utformningar:
 - a. G1 - Enkelspår med mötesplatser avsett enbart för godstrafik. Kostnaderna beräknas uppgå till ca 1.2 miljarder kronor. Den relativt låga kapaciteten gör att den tänkta regionalstågtrafiken till Staffanstorp och Trelleborg utgår.
 - b. G2 - Dubbelspår, som utnyttjas av alla Öresundståg och fjärrtåg förbi Malmö. Godstrafiken från Malmö C kan köra Kontinentalbanan. Övriga tåg kör Yttre godsbanan. Kostnaderna beräknas till ca 2.6 miljarder kronor.

Starten av etapperna G1 och G2 kan vid behov senareläggas och beslut behöver inte tas förrän man har en klarare uppfattning om trafikbehovet.

I kommande avsnitt skall vi söka metoder för att utvärdera alternativen till engångsbeslutet i avsikt att visa under vilka betingelser "Citytunneln som

⁸ Det är dock diskutabelt om det är möjligt att låta tåg vända i stationen Triangeln fram tills dess tunneln anslutits till Öresundsbanan. Om detta kan ske bör dock lönsamheten av projektet öka betydligt. (Jmf diskussionen hos Nilsson (2001, s. 171) om att vända tågen i stationen Hyllie.

etappbyggnad" och "Yttre godsbanan som etappbyggnad" kan generera samhällsekonomiska överskott.

6. Behovet av en ny metodik

Det finns idag ett antal vedertagna metoder för utvärdering av lönsamheten av att investera i projekt som är klart avskilda från andra projekt. Sådana metoder baseras på nuvärden, internräntor eller återbetalningstid ("pay off"). De kan användas för att utföra såväl företagsekonomiska som samhällsekonomiska bedömningar.

För prioritering mellan *fysiskt oberoende* men *om kapital konkurrerande* projekt finns också ett antal metoder och då främst nuvärdekvot ("besparingen i nuvärde per investerad krona"). Denna teknik har under en lång följd av år tillämpats inom statsförvaltningen och då främst av Banverket och Vägverket.

De här nämnda metoderna bygger på att man känner kostnader, intäkter och trafikvolym. I de fall då det råder betydande osäkerhet om dessa belopp, så har man hittills förlitat sig på s.k. känslighetsanalys.

Investeringar i järnvägar och vägar utsätts alltså idag för omfattande samhällsekonomiska bedömningar. I princip bör man samhällsekonomiskt sett genomföra samtliga investeringsprojekt som redovisar *ett positivt nuvärde*. Nuvärdet för ett projekt mäts då som skillnaden mellan resenärernas betalningsvilja och de samhällsekonomiska kostnaderna för investering och utnyttjande. I realiteten råder det dock finansiella begränsningar avseende investeringsmedel, vilket betyder att man måste avstå från eller senarelägga en mängd projekt. Detta har lett fram till att man *vid prioritering* använder sig av *nuvärdekvoter* (cost/benefit-kvoter). Dessa kvoter anger projektens grad av angelägenhet i form av nyttan per investerad krona av att införliva en projekterad investering inom en begränsad investeringsbudget. Metodiken har mycket stora fördelar eftersom den är relativt sett enkel att hantera och förstå. Vid konkurrens om begränsade medel så utsätts härmed samtliga projekt för samma bedömningsprinciper.

Rangordning efter nuvärdekvoter utgör alltså en vedertagen princip avseende prioritering av *fysiskt oberoende* projekt som konkurrerar om samma kapitalresurser. Vid inbördes beroende projekt kommer denna metodik att påverka designen av projekten. Bristen på kapital kommer på detta sätt att styra valet av investeringar mot mindre kapitalintensiva projekt⁹.

⁹ Såväl Lindberg 2001 (sid 34) som Lennefors 2001 (sid 31) använder sig av nuvärdekvoter parallellt med nuvärden. I den mån de avser känslighetsanalyser när investeringskostnaderna är desamma så uppstår inga större problem, eftersom rekommendationerna blir desamma. Om det däremot gäller att välja mellan två investeringar av olika storlek så kan en användning av nuvärden leda fram till annorlunda rekommendationer än en användning av nuvärdekvoter.

Såväl Banverket som Vägverket genomför dock regelbundet ett antal investeringsprojekt, som är kopplade till varandra. Detta innebär att med dagens metodik baserad på nuvärdekvoter uppstår det stora svårigheter att prioritera mellan integrerade investeringsprojekt och inbördes oberoende investeringsprojekt.

Exempel på inbördes beroende projekt är:

- en mindre investering idag jämfört med en större om 5-10 år.
- byggandet av en kedja av vägar eller järnvägar, där nyttan av en investering växer i och med att andra investeringar blir klara.

Citytunneln i Malmö består av en uppsättning inbördes beroende projekt för vilka det råder en betydande osäkerhet avseende såväl investeringskostnader som framtida trafikvolymmer.

Denna förstudie av real optionsanalys för vägar och järnvägar fokuseras således på en samhällsekonomisk utvärdering av inbördes beroende investeringsprojekt. Nyttan av projekten förutsätts vara avhängig av osäkerheten avseende:

- trafikvolymernas utveckling och fördelning på olika rese- och transportvägar.
- de framtida kostnaderna för att bygga projekten.
- de framtida miljökraven och miljöeffekter vid byggande och utnyttjande.

Speciell tonvikt bör läggas på *val av tidpunkt och storlek* för vart och ett av dessa beroende projekt.

Klassiska sätt att hantera osäkerhet i samband med beräkning av nuvärden eller internräntor är via:

1. *Känslighetsanalys*. Metodiken bygger på att man beräknar den förändring i nuvärde (eller internränta) som förorsakas av alternativa antaganden om trafiktillväxt och byggkostnader.
2. *Säkerhetsekvivalenter*. Detta betyder att överskott justeras ner med en faktor som ökar år för år.
3. *Riskjustering*. Här justerar man upp kalkylräntan för att betona att finansierarna ställer högre förräntningskrav på riskfulla projekt.
4. *Beslutsträd*. Här räknar man fram olika scenarier och väger samman dem med sannolikheter.

Känslighetsanalys rekommenderas när man vill undersöka hur lönsamheten av ett projekt påverkas av olika tillväxttakter eller byggkostnader (se SIKA 2000, sid. 13, 18). Beslutsträdsanalys har hittills varit den förhärskande metoden när projekt varit inbördes beroende. Idag sker dock en snabb utveckling mot s.k. *real optionsanalys* för hantering av inbördes beroende projekt när det råder osäkerhet. Följaktligen är det väsentligt att ge svar på frågorna *om* och *när* denna metodik bör kunna utnyttjas för att avgöra bästa strategi för inbördes beroende projekt, som i fallet med Citytunneln i Malmö.

7. Erfarenheter av analyser baserade på realoptioner.

Marglin (1963) var en av de första att analysera dynamiska investeringsproblem, dvs problem där man har möjlighet att välja mellan olika investeringstidpunkter ("nu eller senare"). Han deklarerade:

Although all decision rules that have gained acceptance do so in that they reflect a project's potential benefits and costs over a substantial period, they do not take time into account in a way equally essential: they do not reflect the impact of a project's pay-off of delaying its construction. And it is by this latter quality that we distinguish dynamic from static rules in this study.

Marglin slog fast, att varje försummelse att bestämma bästa investeringstidpunkt kan leda till inkorrekta beslut, som kan få förödande konsekvenser. Han redovisade detta med ett exempel från gruvindustrin, där den optimala investeringstidpunkten låg ca 15 år efter det att projektet först visat ett positivt nuvärde.

Marglins analyser kom senare att vidareutvecklas och användas vid väginvesteringar av bl.a. Lundin (1966), Bergendahl (1969) och Thygesen (1971). Vid dessa tidpunkter var det graden av fasta uppsättningskostnader och skalekonomi och inte osäkerhet som låg till grund för val av bästa investeringstidpunkt.

En analys baserad på reala optioner förutsätter att investeringsbeslut kan tas stegvis och att man vid varje nytt steg har fått ny information om efterfrågan (här trafikvolym) och kostnader. Dessa principer har t.ex. använts inom oljebranschen (Trigeorgis 1995, Dixit & Pindyke 1997 & 1998), inom gruvindustrin (Luenberger 1998, Amram & Kulatilaka 1999), samt inom flygindustrin (Trigeorgis 2000).

Svavarsson (2002) har i redovisat grunderna för användning av en realoptionsanalys vid väginvesteringar. Svavarsson presenterar fyra investeringsprojekt, som samtliga har en negativ nuvärdekvot, vilket betyder att de enligt gällande principer inte bör byggas. När han sedan tar hänsyn till att han vid en osäker efterfrågan har flexibilitet att skjuta på kompletterande investeringar, så blir projekten lönsamma.

Vad är då en *real option*? Generellt sett är en *option* en rättighet men inte en skyldighet att vid en framtida tidpunkt genomföra en ekonomisk transaktion. Optionen är av värde när det råder osäkerhet. T ex kan en valutaoption vara en rättighet men inte en skyldighet att sälja en specificerad mängd US-dollar till en given kurs vid en given tidpunkt. En sådan option utnyttjas ("*is exercised*") enbart då avistakursen vid den givna tidpunkten visar sig ligga under den i optionskontraktet angivna kursen.

Många strategiska investeringar skapar möjligheter (men inte skyldigheter) till framtida affärstransaktioner och kan därför benämnas realoptioner. En satsning på Malmö CN och Citytunneln till Triangeln ger en möjlighet (men inte en skyldighet) att bygga tunneln vidare för anslutning till Öresundsbanan. Om man sedan gör en anslutning till Öresundsbanan så har man i sin tur en möjlighet men inte en skyldighet att bygga en station och ett bostadsområde vid Hyllie. På samma sätt kan en satsning på Yttre

godsbanan som enkelspår ses som en *real option* att i framtiden bygga ut till dubbelspår om man vid en senare tidpunkt finner att trafiken växer tillräckligt snabbt. En real option, som på detta sätt beror av tillväxten i efterfrågan (här gällande trafiken) brukar kallas för en *real tillväxtoption*.

En real optionsanalys behövs i följande situationer:

- När en investering är betingad av en annan. Ingen annan metod har hittills visat sig kunna på ett korrekt sätt värdera ett sådant alternativ.
- När osäkerheten om framtida tillväxt är stor nog för att det skall vara rimligt att vänta på ny information.
- När värdet av en investering mer beror av möjligheterna till framtida tillväxt än av nuvarande betalningsströmmar.
- När osäkerheten är stor nog för att dra nytta av flexibilitet hos en investering.
- När byggnadskostnaderna är betingade av stor osäkerhet men man får nya erfarenheter när man bygger ("learning option").

8. Real optionsanalys för Citytunneln i Malmö

Real optionsanalys är en utveckling av nuvärdemetoden när osäkerheten om den framtida utvecklingen har en avgörande betydelse. Den utgår ifrån nuvärdemetoden med säkerhetsekvivalenter men här lägger man in möjligheter att i ett senare skede successivt komplettera en initial investering med nya beslut allt eftersom osäkerheten minskar. Nuvärdet av ett projekt kan därmed beräknas som nuvärdet av förväntade framtida överskott minskat med nuvärdet av förväntade utlägg för framtida investeringar.

$$\boxed{\text{Nuvärdet av ett investeringsprojekt}} = \boxed{\text{Nuvärdet av förväntade framtida överskott}} - \boxed{\text{Nuvärdet av förväntade utlägg för investeringarna}}$$

Osäkerheten vid investeringar i järnvägsnät (eller i vägnät) kan bero på en mängd faktorer, såsom¹⁰:

1. Det framtida behovet av resor och av godstransporter är svårt att fastlägga en lång tid i förväg.
2. Kostnaderna för att bygga olika länkar i ett nät kan komma att stiga när man väl satt igång ett projekt främst beroende på tidigare okända byggnadsförhållanden. Samtidigt kan kostnaderna för att investera komma att öka genom att det uppstår oväntade miljöeffekter.
3. Vissa delar av ett investeringsprogram kan komma att senareläggas på grund av en försenad tillståndsgivning (ofta förorsakad av miljöhänsyn).

Nedanstående exempel ger en illustration till hur en real optionsanalys skulle ha kunnat användas för att utvärdera satsningen på Citytunneln i

¹⁰ Jmf SIKA 2002, sid. 48.

Malmö. Detta exempel fokuseras på osäkerheten i trafikprognoserna, men övriga typer av osäkerhet kan också beaktas.

Utgå ifrån figur 2, som redovisar olika alternativa steg av satsningar på Citytunneln och tillhörande järnvägsnät. Varje sådant steg ger upphov till en ny utformning - ett nytt *tillstånd* - avseende järnvägsnätet i drift. Uppgiften blir nu att utforma en trafikprognos för vart och ett av dessa tillstånd och för tidsperioden från år 2007 (när en första etapp kan vara klar) till år 2070 (tidshorisonten drygt 60 år senare). I tabell 4 redovisas de olika tillstånd för vilka man då får utföra sådana trafikprognoser.

Tabell 4. Alternativa tillstånd hos järnvägsnätet kring Citytunneln i Malmö

Tillstånd	Strategi	Genomförda investeringar
S1	Bordläggning	Inga
S2	Engångsbeslut 1 Etappbyggnad 1	Malmö bangård, Malmö CN, Triangeln
S3	Engångsbeslut 2 Etappbyggnad 2	Triangeln - Öresundsbanan
S4	Engångsbeslut 3 Etappbyggnad 3	Station Hyllie
S5	Yttre godsbanan 1	Enkelspår
S6	Yttre godsbanan 2	Dubbelspår
S7	Yttre godsbanan 3	Station Persborg

S4 är det prognosalternativ, som hittills utretts av Banverket och Intraplan. Banverket antar en årlig trafik tillväxt av 1.3 % fram till år 2020 och 0.5 % därefter, medan Intraplan förutsätter en ökning med 3.1 % per år fram till år 2010 (Lundberg 2001, s.7). Senare utgår Intraplan från "en trafik tillväxt på 2 % per år och genomför en känslighetsanalys med tillväxten 1.3%, 3.0% respektive 3.5%. Tillväxten antas vara konstant över 60 år i vissa alternativ och klinga av efter 20 år till 0.5 %" (Lundberg 2001, s. 12). En sådan trafik tillväxt är "geometrisk", dvs trafikvolymen ökar exponentiellt. I den mån det råder osäkerhet kring dessa prognoser så är det rimligt att anta att spridningen ökar över tiden och att prognosvärdena följer en "lognormal" fördelning (dvs logaritmen av prognoserna är normalfördelad). Det är då möjligt att beskriva trafikprognoserna och tillhörande årliga överskott som ett "binomialt galler eller träd" (*binomial lattice*). Figur 3 ger ett exempel på ett sådant träd eller "galler" här redovisat för vart femte år. Metoden kan dock enkelt anpassas till förgreningar år för år. Ju oftare man tillåter en förgrening ju bättre blir osäkerheten representerad¹¹.

Banverkets och Intraplans prognoser för år 2010 utgör här grunden för ett antal gjorda räkneexempel¹². För utredningsalternativet UA kan man skatta

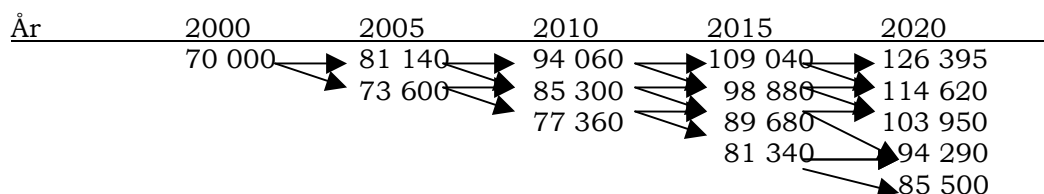
¹¹ Se t ex Amram & Kulatilaka 1999, sid. 113-115.

¹² Banverket (personlig kommunikation 2002-11-11) har poängterat att skillnaderna mellan de båda prognosalternativen beror av skillnader rörande antaganden om bilarnas framtida bensinförbrukning, exploateringen kring Brostaden och Örestad, intensiteten i integration, samt anpassningen av stadsbussarna till Citytunnelns nya stationer. Samtidigt betonas, att det redan nu (år 2002) visat sig att tidigare gjorda trafikeringsantaganden lett till en underskattning av verkliga trafikvolymerna.

ett genomsnittligt antal resande per dag till 108.200 enligt Intraplan och 72.900 enligt Banverket (se Tabell 1). Använd sedan tillväxtprognosen, vilken var 3.1 % för Intraplan och 1.3 % för Banverket. Detta betyder att om utredningsalternativet UA hade funnits år 2000 så skulle det enligt Intraplan ha funnits $108.200/1.031^{10} = 79.700$ resenärer/dag år 2000. På samma sätt kan man beräkna att Banverkets skattningar för år 2000 borde ha varit $72.900/1.013^{10} = 64.100$ resenärer/dag. För att illustrera metodiken bakom en realoptionsanalys kommer vi här att som utgångspunkt för trafiktillväxten använda ett genomsnittligt värde av 70.000 resenärer per dygn år 2000 som en skattad volym/dag för antalet resenärer detta år om Citytunneln då varit i trafik.

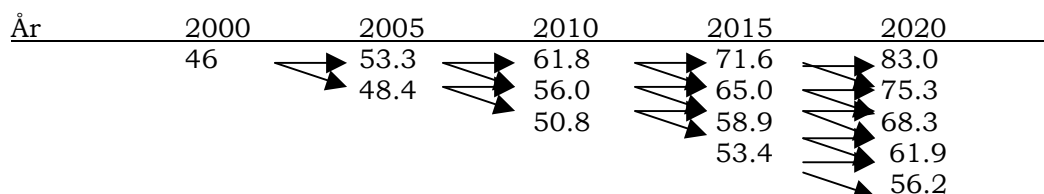
Osäkerheten i trafikvolymerna framkommer genom att man förutsätter alternativa utvecklingstakter här illustrerat med 3.0 % alternativt 1.005 % per år. Utgående från 70000 år 2000 leder en tillväxt på 3.0 % till 81140 resenärer/dag år 2005 och en tillväxt på 1.005 % ger 73600 resenärer/dag år 2005. Detta leder till en lognormal fördelning med en genomsnittlig tillväxt av 2.0 % per år. CTEK's kostnadskalkyl baserad på Intraplans prognos kommer på detta sätt att ligga runt genomsnittet medan Banverkets prognos kommer att hamna under genomsnittet (se Lennefors 2001, sid. 29 & Lindberg 2001, sid. 12, 34).

Figur 3. Trafikprognos för tillstånd S4 i form av ett träd



Värdera nu dessa volymer genom att anta ett nettoöverskott av SEK 1.80/personkm, dvs genomsnittet mellan Banverkets och Intraplans bedömningar (se Tabell 2). Detta leder fram till ett träd av överskott, som då kommer att representera spridningen av utfallen (Figur 4)¹³.

Figur 4. Årliga överskott från trafiken under tillstånd S4 (baserade på prognostträdet i Figur 3).

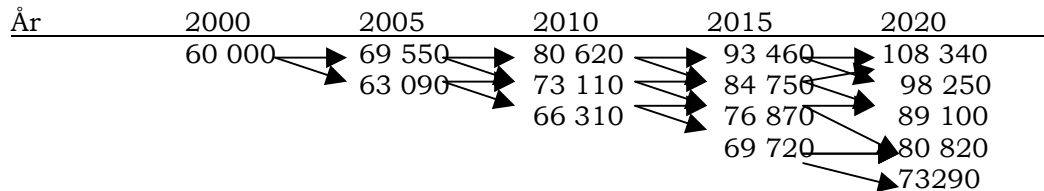


På samma sätt kan man utforma en trafikprognos för tillstånd S3, dvs tillstånd S4 med undantag av att station Hyllie inte byggts. Intraplan och

¹³ Spridningen i dessa överskott blir ännu större om man a) i likhet med Intraplan antar att deras höga prognosvärden är knutna till ett nettoöverskott så högt som 2.28 kr/personkm, och b) i likhet med Banverket förutsätter att deras låga prognosvärden är kopplade till nettoöverskott så lågt som 1.32 kr/personkm (se Tabell 2).

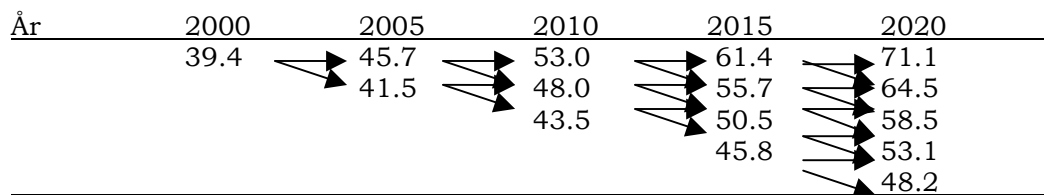
Banverket räknar med att station Hyllie skall generera 16.400 resp. 7000 resenärer/dag år 2010 (se Tabell 1). Det kan då vara rimligt att anta att station Hyllie fullt utbyggd år 2000 skulle ha genererat ca 10000 resenärer av de 70000 som finns med i trafikprognos S4 (se Figur 3). Detta betyder att trafikprognos S3 bör starta med 60000 resenärer år 2000 och få ett prognostråd i enlighet med Figur 5. (I realiteten betyder detta att prognos S3 kommer att ligga 6/7 under prognos S4).

Figur 5. Trafikprognos för tillstånd S3 i form av ett träd



Om vi även fortsättningsvis antar ett nettoöverskott av SEK 1.80/personkm, så leder detta fram till följande träd av värden (Figur 6).

Figur 6. Årliga överskott från trafiken under tillstånd S3 (baserade på prognostrådet i Figur 5).



På samma sätt kan man få fram prognoser och årliga överskott för samtliga tillstånd S1-S7 fram till tidshorisonten 2070.

För varje tillstånd S1 - S7 kan man sedan beräkna nuvärdet av förväntade framtida överskott. Man räknar då baklänges från ett valt horisontår (t ex år 2070). Man utgår från restvärdena detta år och beräknar sedan år för år den ackumulerade och diskonterade nyttan av olika tillstånd. Eftersom den binomiala modellen representerar en lognormal fördelning så hanteras risken direkt i nyttoflödena och diskonteringsräntan kan antas vara riskfri¹⁴.

I nedanstående räkneexempel demonstreras den reala optionskalkylen för åren 2000-2025 och då enbart för tillstånden S3 och S4. Detta görs av illustrativa skäl men kalkylerna går naturligtvis att generalisera till att använda samtliga tillstånd S1 - S7 och för en önskad livslängd av 70 år.

Börja med tidsperioden 2020-2025. Om överskottet år 2020 är 71.1 mkr (se Figur 6) så kommer de diskonterade överskotten åren 2020-2025 att bli:

¹⁴ Observera att en real optionsanalys inte bygger på ett antagande om lognormal fördelning. Om trafikvolymen antas öka lineärt och alltså inte geometriskt så använder man sig av en valvig normalfördelning.

$$\sum_{t=1}^5 \frac{71.1(1+0.03)^t}{(1+0.04)^t} = 71.1 * 4.86$$

om trafiken växer med 3.0 % och

$$\sum_{t=1}^5 \frac{71.1(1+0.01005)^t}{(1+0.04)^t} = 71.1 * 4.58$$

om trafiken växer med 1.005 %. Då båda alternativen antas ha sannolikheten 50 % så kommer det förväntade diskonterade överskottet för denna femårsperiod att bli $71.1 * 4.72 = 335.6$. På samma sätt kan man beräkna överskotten för samtliga alternativ perioden 2020-2025 (se kolumn 2020 i Figur 7).

Figur 7. Ackumulerade och diskonterade överskott för tillstånd S3 (baserade på överskotten i Figur 6).

År	2000	2005	2010	2015	2020
		535.5	683.4	552.8	335.6
		485.5	619.6	501.5	304.4
			561.8	454.8	276.1
				412.7	250.6
					227.5

Därefter beräknas överskotten för år 2015. Det första värdet är beräknat som $(0.5 * 335.6 + 0.5 * 304.4) / 1.045 + 61.4 * 4.72 = 552.8$. På samma sätt genomförs samtliga beräkningar, vilket innebär att nuvärdet år 2005 på 15 års avkastning (2010-2025) av tillstånd S3 hamnar i intervallet 485-535 mkr.

På samma sätt beräknas nu i Figur 8 det ackumulerade överskottet från tillstånd S4 till 566-625 mkr.

Figur 8. Ackumulerade överskott från trafiken under tillstånd S4 (baserade på överskotten i Figur 4).

År	2000	2005	2010	2015	2020
		624.8	797.4	644.9	391.5
		566.4	722.9	585.1	355.1
			655.4	530.6	322.1
				481.5	292.4
					265.4

Vad visar nu dessa räkneexempel? Jo, att nuvärdet år 2005 av förväntade framtida överskott under perioden 2010-2025 skulle ha kommit att ligga i intervallet 566-625 mkr för tillstånd S4 och i intervallet 485-535 mkr för tillstånd S3. Detta betyder att stationen Hyllie under tidsperioden 2010-2025 kan generera ett *nettonuvärde* i intervallet 81-90 mkr. Men stationen Hyllie beräknas kosta ca 200 mkr för en livslängd av 60 år. De första 15 åren (2010-2025) bör därmed belastas med de summerade och diskonterade annuiteterna för dessa femton år, vilka enligt Tabell 5 beräknas till 95 mkr (exkl. ränta under byggtid). Dessa siffror pekar på att station Hyllie

samhällsekonomiskt sett inte är lönsam att bygga till år 2010 eftersom kostnaden 95 mkr klart överstiger nettonuvärdet 81-90 mkr.

Tabell 5. Diskonterade annuiteter

Period (år)	5	10	15	20	25
Disk. annuitet (mkr)	38.05	69.32	95.03	116.16	133.52

Fördelen med den reala optionsanalysen är att den möjliggör en beräkning av fördelarna av att senarelägga vissa investeringar i avvaktan på ny information. Detta framkommer tydligt i detta exempel. Om man bestämmer sig för att nu bygga Etapp 1 och 2 för att vara klar till år 2010 och senare fortsätter med att bygga stationen Hyllie *i de fall man observerar att trafik tillväxten blir hög* (dvs 3.0 % per år) så finner man följande nettonuvärden:

Tabell 6. Nettonuvärden (mkr)

Byggnadsår	Nettonuvärden vid hög trafik tillväxt ¹⁵	Antal år annuiteter	Del av byggkost	Överskott
2010	797.4 - 683.4 = 114.0	15	95.0	+ 19.0
2015	644.9 - 552.8 = 92.1	10	69.3	+ 22.8
2020	391.5 - 335.6 = 55.9	5	38.1	+ 17.8

Detta tyder på att stationen i Hyllie inte är lönsam vid den lägre tillväxten 1.005 % men blir lönsam år 2010 vid den högre tillväxten 3 %. Den reala optionsanalysen kommer på detta sätt att räkna med fördelarna av att kunna investera när efterfrågan växer starkt och låta bli när efterfrågan utvecklas svagt.

Slutsatsen blir att en realoptionsanalys är en metodik, som är tillämpbar vid betydande osäkerhet avseende trafikprognoser, byggkostnader och miljöeffekter. Men förutsättningarna skall vara

- A. att man vid framtida tidpunkter kan få *ny och säkrare information*, varför det kan löna sig att vänta med vissa delbeslut.
- B. att det verkligen *råder flexibilitet* i den mening att framtida delbeslut kan tas utan större kostnadsfördyringar.

Förutsättning (a) om nyttan av ny information borde ha en stor relevans för Citytunnelprojektet speciellt avseende byggkostnaderna. Av avsnitt 4 ovan framgick att byggkostnaderna initialt (1992) var skattade till 2.9-3.5 miljarder kronor. Idag tio år senare är skattningen drygt 9 miljarder kronor, dvs en ökning med flera hundra procent dock mätt i löpande priser.

Förutsättning (b) avseende flexibilitet vid etapputbyggnad är i många fall mer diskutabel. Det uppkommer helt säkert en stor fördyring om man efter Etapp 1 Malmö C - Triangeln skulle vänta flera år med Etapp 2 Triangeln -

¹⁵ För år 2010 är utgör t ex beloppen 794.4 mkr (från figur 7) och 683.4 mkr (från figur 8) avkastningen vid högsta trafik tillväxt.

Öresundsbanan. Därför bör dessa båda etapper byggas i en följd¹⁶ (såvida inte trafikvolymerna når en katastrofalt låg nivå och man därför kan tvingas avbryta projektet efter etapp 1). En etapputbyggnad hade varit avsevärt mer intressant för det fall man valt att inte bygga Citytunneln utan istället utnyttjat Kontinentalbanan för persontrafik och byggt Yttre godsbanan för godstrafik. Då framträder de stora fördelarna av flexibilitet och etappbyggnad.

9. Slutsatser

Denna förstudie avser lönsamhetsbedömning av investeringar i vägar och järnvägar för fall med stor osäkerhet i byggkostnader och trafikprognoser. Här föreslås en utveckling från nuvärden och nuvärdekvoter till s k tillväxtoptionsvärden.

Citytunnelprojektet i Malmö används här som demonstrationsexempel. En utgångspunkt har varit de analyser som utförts av Banverket och CTEK. Följande slutsatser kan dras:

- Banverket och CTEK har arbetat med två huvudalternativ, utredningsalternativet - UA - med Citytunneln och jämförelsealternativet - JA - utan Citytunneln. Utredningsalternativet är utformat som ett *engångsbeslut*, dvs man förutsätts vid en enskild tidpunkt fatta beslut om genomförande av samtliga ingående delinvesteringar.
- Om man bygger Citytunneln beräknar Banverket en trafiktillväxt av 1.3 % per år fram till år 2020 och 0.5 % därefter. CTEK utgår från Intraplans prognos med en tillväxt för kollektivtrafiken av ca 3.1 % per år fram till år 2010. På lång sikt prognostiserar CTEK en ökning med 2 % per år.
- Både Banverket och CTEK skattar kostnaderna för att investera i Citytunnelprojektet till ca 8280 mkr i 1999 års penningvärde. Om man istället väljer jämförelsealternativet JA så sjunker investeringskostnaderna till 2810 mkr.
- Både Banverket och CTEK använder nuvärdeberäkningar och nuvärdekvoter för att bedöma lönsamheten av Citytunnelprojektet. Banverket beräknar ett underskott i nuvärde på drygt 3.7 miljarder kr medan CTEK skattar underskottet i nuvärde till ca 0.5 miljarder kr.
- Banverkets beräkningar pekar på att trafikvolymerna måste totalt sett öka med ca 85 % för att projektet skall visa sig vara lönsamt. Om CTEK's beräkningar slår in behöver denna ökning inte vara högre än

¹⁶ Knutsson & Prahl, Citytunnelprojektet har påpekat "att projektet inte är möjligt att dela i etapper. De ekonomiska konsekvenserna skulle bli förödande." Förmodligen är detta en korrekt bedömning i det fall man skulle vilja stoppa projektet efter man nått stationen Triangeln. En etappbyggnad bör vara mer relevant vad gäller stationen Hyllie eller yttre godsbanan som enkelspår resp. dubbelspår.

6 %.

- Nuvärdekvoter är egentligen inte ett mått på lönsamhet utan på prioritet när man har en begränsad tillgång på budgeterat kapital.
- En analys har här gjorts angående *alternativa lösningar till engångsbeslutet* med särskild tonvikt på strategier där man bygger i *etapper*. Sådana strategier har fördelen av att man kan starta en etapp av projektet och besluta om en eventuell fortsättning först om man ser att kostnaderna inte blir oväntat höga och att trafikvolymerna växer kraftigt. Dessa former av strategier kan därmed identifieras som *reala optioner*¹⁷.
- En modifiering av engångsbeslutet mot en sekvens av reala optioner antas för Citytunnelprojektet ha kunnat ta sig ett antal alternativa utformningar:
 - Bordläggning av engångsbeslutet tills dess man har bättre information.
 - Etapputbyggnad i form av Malmö C - Triangeln (etapp 1), Triangeln - Öresundsbanan (etapp 2) och stationen Hyllie (etapp 3). Här bygger man etapp 3 enbart i det fall när trafikefterfrågan visar sig bli tillräckligt stor och investeringskostnaderna inte blir oväntat höga.
 - Yttre godsbanan som enkelspår (etapp 1) och som dubbelspår (etapp 2). I en tredje etapp bygger man stationen Persborg. I detta fall genomför man etapperna 2 och 3 först då man ser att trafikefterfrågan blir tillräckligt stor och byggkostnaderna tolerabla. Kontinentalbanan används här för persontrafik och Yttre godsbanan för godstrafik.
- Osäkerheten i trafikprognoserna antas nu kunna formuleras som ett antal möjliga scenarier utformade som ett slags träd (galler, *lattice*). Varje scenario kan ta sig uttryck som en serie lognormala fördelningar här representerade som ett träd med årliga uppgångar av 3.0 % alternativt 1.005 %. På detta sätt blir den genomsnittliga årliga tillväxten 2 %.
- Med dessa utgångspunkter görs en beräkning av en *tillväxtoption för stationen Hyllie* (etapp 3). Denna option får då ett positivt värde år 2010 om man enbart bygger i de fall när trafikefterfrågan knuten till etapperna 1 och 2 visat sig växa med 3.0 % eller mer.
- Många planerare kan tänkas ge negativ tolkning av en etappbyggnad och hävda att det är slöseri med resurser att bygga i två eller flera steg. Det finns uppenbart situationer då detta stämmer in. Men det

¹⁷ Se t.ex. Amram & Kulatilaka 1999, Brennan & Trigeorgis 2000, Copeland & Antikarov 2001., Copeland & Keenan 1998:A, sid. 38-49, Copeland & Keenan 1998:B, sid. 128-141, Dixit & Pindyck, 1995, & Trigeorgis 1996.

finns säkerligen många fall, då etappbyggnad med stegvisa beslut om fortsättning är samhällsekonomiskt lönsam. Två argument talar för detta:

1. Även om en etappbyggnad oftast medför ökade kostnader nominellt sett så kan en senareläggning av kommande etapper resultera i sådana räntebesparingar, att de *diskonterade* totalkostnaderna blir lägre. Etappbyggnad blir då särskilt intressant i en tid av höga räntenivåer.
2. Möjligheten till ("optionen") att i ett senare skede avgöra om man skall bygga kommande etapper kan i ett flertal fall tänkas ha ett betydande värde. Ju större osäkerhet som finns rörande framtida byggkostnader och framtida trafikvolymer desto större blir värdet av dessa möjligheter.

Det krävs dock betydande mer analyser innan man kan visa om Citytunnelprojektet är av den typ som motiverat en etappbyggnad med stegvisa beslut om fortsatt utbyggnad.

- Här gjorda beräkningar pekar alltså på att det finns ett klart behov av ökad forskning inriktad på att använda en realoptionsanalys vid prioritering mellan inbördes beroende investeringsprojekt. Särskilt intressant är denna metod när man bygger i etapper och när det är realistiskt att vänta med utbyggnaden av en ny etapp om kostnaderna blir för höga eller trafikmängderna för små. Sådana etappbyggnader uppstår kanske främst vid en "kedja" av investeringar (som i fallet Väst kustbanan som dubbelspår).

I denna rapport har järnvägstrafiken i Malmöområdet använts som ett testexempel innehållande osäkerhet rörande trafikprognoser och med en rad alternativa investeringsprojekt såsom Citytunneln, Kontinentalbanan och Yttre godsbanan. Tror man på en kraftig tillväxt och kan man klara en delfinansiering utanför statliga budgetramar, så framträder Citytunneln som en elegant lösning för Malmöområdet. Förväntar man sig däremot en låg tillväxt och en finansiering i konkurrens med övriga väg- och järnvägsprojekt så kan en successiv utbyggnad av Yttre godsbanan ha varit ett *ekonomiskt sett* bättre alternativ än Citytunneln.

10. Behov av fortsatt forskning

Denna förstudie har fokuserats på att utveckla metodiken för lönsamhetsbedömning för de fall när efterfrågan på resor och godstransporter bedöms som kraftigt osäker.

En metodansats baserad på reala optioner kan vid järnvägs- och väginvesteringar få följande inriktning:

- Efterfrågan på resor och godstransporter prognostiseras i form av ett "träd" (eng. *lattice*). Ju längre och längre bort i tiden man kommer ju vidare och ju fler blir prognoserna.
- Värdet av en senareläggning av sådana investeringsalternativ kan nu bedömas för varje alternativt scenario avseende resor och transporter.

- De olika värdeutfallen vägs samman och diskonteras till den första beslutstidpunkten. Slutvärdet uppstår i form av ett positivt eller negativt värde av samtliga beroende investeringar.
- Givet dessa alternativa prognoser så uttestas olika alternativ såsom "senareläggning av vissa projekt", resp "tidpunkt och storlek avseende expansion av delprojekt".

En huvudstudie med denna inriktning bör bestå av två delar. Den bör för det första *utveckla en ny metodik* i avsikt att underlätta för Banverket, Vägverket och andra samhällsliga organisationer att prioritera mellan inbördes beroende investeringsprojekt. Metoden bör bygga på en ansats med *reala optioner*, där man för enskilda investeringar inkluderar värdet av möjligheten att i framtiden kunna expandera kapaciteten i de fall tillväxten stiger över förväntan (s k "growth options") eller senarelägga den när tillväxten blir under förväntan ("options to defer").

För det andra bör metodiken med reala optioner *tillämpas* på sådana situationer där man avser att rangordna en samling inbördes beroende projekt. Här förutsätts att man får tillgång till projektunderlag från Banverket och Vägverket för att på ett praktiskt sätt demonstrera metodiken. Det finns idag helt klart en mängd projekt med betydande osäkerhet rörande byggkostnader och trafiktillväxt för vilka man bör testa en real optionsanalys.

Sammantaget betyder detta att det är angeläget att vidare undersöka

- de fall när real optionsanalys är en lämplig metod för utvärdering och prioritering av väg- och järnvägsprojekt och de fall när en sådan analys är mindre användbar.
- Hur man på lämpligaste sätt bör gå tillväga för att i praktiken använda en real optionsanalys. Metoden bör utformas på ett sätt, som gör den hanterbar och förståelig för många användare.
- Hur man bör utforma trafikprognoser under osäkerhet. Det är därför speciellt intressant, att utforska de betingelser under vilka prognoser kan ges som binomiala träd ("lattices").
- Hur man kan utveckla säkrare metoder för kostnadsprognoser så att man i ett senare skede av en investeringsprocess kan dra nytta av erfarenheter från tidigare faser av projektet.

Referenser

- Amram, M. & Kulatilaka, N., Real Options. Managing Strategic Investment in an Uncertain World, Harvard Business School Press, Boston, Mass. 1999.
- Bergendahl, G., Models for Investments in a Road Network, Bonniers, 1969.
- Brennan, M.J. & Trigeorgis, L. (edit.), Project Flexibility, Agency, and Competition, Oxford University Press, Oxford, 2000.
- Bergendahl, G. & Segelod, E.: Utvärdering av spårvagnsparkens framtida sammansättning för Göteborgs Spårvägar, Företagsekonomiska institutionen, Göteborgs universitet, september 1981.
- Citytunnelprojektet, Järnvägsutredning, 2000-05-22.
- Copeland, T. & Antikarov, V., Real Options. A Practitioner's Guide, Monitor Group, Texere, New York, 2001
- Copeland, T.E. & Keenan, P.T., How Much is Flexibility Worth, McKinsey Quarterly, No. 2, 1998:A.
- Copeland, T.E. & Keenan, P.T., Making Real Options Real, McKinsey Quarterly, No. 3, 1998:B.
- Dixit, A.K. & Pindyck, R.S., The Options Approach to Capital Investments, Harvard Business Review, May-June 1995.
- Dixit, A.K. & Pindyck, R.S., A markup interpretation of optimal rules for irreversible investments, NBER, Cambridge 1997.
- Dixit, A.K. & Pindyck, R.S., Expandability reversibility, and optimal capacity choice, NBER, Cambridge 1998.
- Lennefors L., Citytunneln, Samhällsekonomisk bedömning, Södra Banregionen, Banverket, 2001-01-29.
- Lindberg, G., Samhällsekonomisk utvärdering av Citytunneln, CTEK, Borlänge, 2001-03-14.
- Luenberger, D., Investment Science, Oxford University Press, Oxford 1998.
- Lundin, Ch., Lönsamhetsbedömning av vägprojekt i flerårsplanarbetet, Svenska Vägföreningens Tidskrift, nr 9, 1966.
- Marglin, S., Approaches to Dynamic Investment Planning, North-Holland Publ. Co., Amsterdam 1963.
- Nilsson, J.-E., Citytunneln; beslutsprocess och beslutsunderlag, Rapport 2000/01:5, Riksdagens Revisorer, Stockholm 2001.
- Segelod, E., Kalkylering och avvikelser. Empiriska studier av stora projekt i kommuner och industriföretag, Liber förlag, Kristianstad 1986.
- SIKA, Förslag till metoder och riktlinjer för att förbättra samhällsekonomiskt beslutsunderlag, SIKA Rapport 2002:X, Stockholm 2002-01-29.
- Svavarsson, D., Road Investment Valuation - A Real Options Approach, School of Economics and Commercial Law, Göteborg University, Göteborg, 2002.
- Thygesen, I., Investeringsplanaegning, Polyteknisk Forlag, Köpenhamn 1971.
- Trigeorgis, L., Real Options in Capital Investment: models, strategies, and applications, Praeger, 1995.
- Trigeorgis, L., Real Options. Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation, The MIT Press, Cambridge 1996.
- Trigeorgis, L. (edit.), Project Flexibility, Agency, and Competition, Oxford University Press, Oxford, 2000.